

# Spis treści

|  |    |
|--|----|
| <b>Wprowadzenie</b>  | XI |
| <b>1. Metodyka diagnostyki</b>   | 1  |
| 1.1. Ogólne zasady diagnostyki konstrukcji żelbetowych                             | 1  |
| 1.1.1. Typy diagnostyki żelbetowych obiektów budowlanych                           | 1  |
| 1.1.2. Metody oceny stanu konstrukcji  | 4  |
| 1.2. Wiarygodność wyników badań  | 10 |
| 1.2.1. Niezawodność i niepewność badań   | 10 |
| 1.2.2. Sposoby wyznaczania niepewności wyników badań nieniszczących <i>in situ</i> | 12 |
| 1.3. Metody opracowywania wyników badań  | 18 |
| 1.3.1. Podstawowe definicje  | 18 |
| 1.3.2. Rozkłady statystyczne wyników badań   | 19 |
| 1.3.3. Metoda najmniejszych kwadratów i regresja liniowa                           | 25 |
| Literatura do rozdziału 1  | 31 |
| <b>2. Pomiary geometrii konstrukcji</b>  | 32 |
| 2.1. Bezpośredni pomiar konstrukcji  | 32 |
| 2.1.1. Metodyka pomiaru  | 32 |
| 2.1.2. Zasada działania mierników automatycznych                                   | 33 |
| 2.1.3. Stosowany sprzęt  | 35 |
| 2.2. Pomiary geodezyjne konstrukcji  | 37 |
| 2.2.1. Pomiar przemieszczeń poziomych  | 38 |
| 2.2.2. Pomiar przemieszczeń pionowych  | 40 |
| 2.2.3. Stosowany sprzęt  | 43 |
| 2.3. Fotogrametria   | 43 |
| 2.3.1. Podstawy metody   | 43 |
| 2.3.2. Metodyka pomiaru  | 45 |
| 2.3.3. Opracowanie wyników badań   | 47 |
| 2.3.4. Stosowany sprzęt  | 48 |
| 2.4. Trójwymiarowa identyfikacja obiektu   | 48 |
| 2.4.1. Podstawy metody   | 49 |

|   |            |
|---|------------|
| 2.4.2. Metodyka i dokładność pomiaru . . . . .  | 49         |
| 2.4.3. Opracowanie wyników . . . . .  | 50         |
| 2.4.4. Stosowany sprzęt . . . . .   | 51         |
| 2.5. Przykłady pomiarów . . . . .   | 56         |
| Przykład 1. Bezpośredni pomiar nachylenia posadzki przemysłowej . . . . .             | 56         |
| Przykład 2. Pomiar geodezyjny ugięć stropu . . . . .                                  | 57         |
| Literatura do rozdziału 2 . . . . .   | 59         |
| <b>3. Zarysowania konstrukcji z betonów konstrukcyjnych . . . . .</b>                 | <b>61</b>  |
| 3.1. Przyczyny zarysowań . . . . .  | 63         |
| 3.2. Rodzaje zarysowań . . . . .  | 67         |
| 3.3. Zarysowania różnych elementów konstrukcji . . . . .                              | 70         |
| 3.3.1. Belki . . . . .  | 71         |
| 3.3.2. Płyty jednokierunkowo zbrojone . . . . .                                       | 75         |
| 3.3.3. Płyty krzyżowo zbrojone . . . . .  | 78         |
| 3.3.4. Ustroje płytowo-słupowe . . . . .  | 79         |
| 3.3.5. Tarcze . . . . .   | 83         |
| 3.3.6. Krótkie wsporniki słupowe i belkowe . . . . .                                  | 86         |
| 3.3.7. Słupy . . . . .  | 87         |
| 3.4. Metody określania szerokości rys . . . . .                                       | 91         |
| 3.4.1. Pomiar mikrorys . . . . .  | 91         |
| 3.4.2. Pomiar szerokości rys w warunkach laboratoryjnych i <i>in situ</i> . . . . .   | 94         |
| 3.4.3. Pomiar szerokości rys podpowierzchniowych . . . . .                            | 97         |
| 3.5. Sposoby określania głębokości (zasięgu) zarysowań . . . . .                      | 99         |
| 3.6. Monitoring zarysowań . . . . .   | 101        |
| Literatura do rozdziału 3 . . . . .   | 112        |
| <b>4. Obciążenia próbne konstrukcji . . . . .</b>                                     | <b>116</b> |
| 4.1. Rodzaje obciążeń próbnych . . . . .  | 116        |
| 4.1.1. Nieniszczące obciążenia próbne . . . . .                                       | 117        |
| 4.1.2. Praktyczne wskazówki prowadzenia nieniszczących obciążeń próbnych . . . . .    | 129        |
| 4.1.3. Niszczące obciążenia próbne . . . . .  | 132        |
| 4.2. Przykłady badań . . . . .  | 135        |
| Przykład 1. Obciążenia nieniszczące . . . . .   | 135        |
| Przykład 2. Obciążenia niszczące . . . . .  | 140        |
| Literatura do rozdziału 4 . . . . .   | 143        |
| <b>5. Określenie wytrzymałości betonu . . . . .</b>                                   | <b>145</b> |
| 5.1. Badania niszczące betonu . . . . .   | 147        |
| 5.1.1. Pobieranie i przygotowywanie próbek . . . . .                                  | 147        |
| 5.1.2. Przeprowadzenie badań i określenie wytrzymałości betonu na ściskanie . . . . . | 152        |
| 5.1.3. Określenie klasy betonu na podstawie badań próbek rdzeniowych . . . . .        | 161        |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 5.1.4.    | Określenie wytrzymałości charakterystycznej betonu na podstawie badań próbek rdzeniowych . . . . . | 167        |
| 5.1.5.    | Przykłady . . . . .  | 170        |
| 5.2.      | Sklerometryczne badania nieniszczące betonu . . . . .  | 175        |
| 5.2.1.    | Podstawy metody . . . . .  | 175        |
| 5.2.2.    | Wpływ wybranych czynników na wielkości pomiarowe . . . . .   | 179        |
| 5.2.3.    | Warunki pomiarów . . . . .   | 187        |
| 5.2.4.    | Opracowanie wyników badań . . . . .  | 191        |
| 5.2.5.    | Skalowanie przyrządów i określenie wytrzymałości na ściskanie . . . . .                            | 192        |
| 5.2.6.    | Stosowany sprzęt . . . . .   | 204        |
| 5.2.7.    | Przykład . . . . .   | 211        |
| 5.3.      | Określanie wytrzymałości betonu metodą <i>pull-out</i> . . . . .                                   | 220        |
| 5.3.1.    | Podstawy metody . . . . .  | 220        |
| 5.3.2.    | Wpływ wybranych czynników na wyniki badań . . . . .  | 232        |
| 5.3.3.    | Zależności korelacyjne . . . . .   | 234        |
| 5.3.4.    | Skalowanie przyrządów i określenie wytrzymałości na ściskanie . . . . .                            | 237        |
| 5.3.5.    | Stosowany sprzęt . . . . .   | 246        |
| 5.3.6.    | Przykład . . . . .   | 253        |
| 5.4.      | Badania ultradźwiękowe . . . . .   | 257        |
| 5.4.1.    | Podstawy metody ultradźwiękowej . . . . .  | 259        |
| 5.4.2.    | Zależność między wytrzymałością betonu a prędkością ultradźwięku . . . . .                         | 272        |
| 5.4.3.    | Wpływ wybranych czynników na prędkość ultradźwięku . . . . .                                       | 274        |
| 5.4.4.    | Warunki techniczne badań . . . . .   | 279        |
| 5.4.5.    | Opracowanie wyników badań . . . . .  | 282        |
| 5.4.6.    | Skalowanie przyrządów i określenie wytrzymałości na ściskanie . . . . .                            | 284        |
| 5.4.7.    | Stosowany sprzęt . . . . .   | 299        |
| 5.4.8.    | Przykłady . . . . .  | 307        |
|           | Literatura do rozdziału 5 . . . . .  | 319        |
| <b>6.</b> | <b>Określanie gęstości, wilgotności i składu stwardniałego betonu . . . . .</b>                    | <b>325</b> |
| 6.1.      | Metoda suszarkowo-wagowa . . . . .   | 325        |
| 6.1.1.    | Oznaczanie gęstości stwardniałego betonu . . . . .   | 325        |
| 6.1.2.    | Określanie wilgotności betonu . . . . .  | 332        |
| 6.2.      | Metody chemiczne oznaczania wilgotności . . . . .  | 335        |
| 6.2.1.    | Szacowanie wilgotności metodą papierków wskaźnikowych . . . . .                                    | 335        |
| 6.2.2.    | Badanie wilgotności betonu metodą karbidową (CM) . . . . .   | 336        |
| 6.3.      | Metody elektryczne określania wilgotności . . . . .  | 340        |
| 6.3.1.    | Właściwości elektryczne betonu . . . . .   | 340        |
| 6.3.2.    | Badanie wilgotności na podstawie pomiaru rezystywności . . . . .                                   | 345        |
| 6.3.3.    | Metoda dielektryczna określania wilgotności betonu . . . . .                                       | 349        |
| 6.3.4.    | Metoda mikrofalowa badania wilgotności betonu . . . . .  | 354        |
| 6.3.5.    | Aparatura do badań wilgotności metodami elektrycznymi . . . . .                                    | 356        |
| 6.4.      | Badanie gęstości i wilgotności betonu metodami radiologicznymi . . . . .                           | 362        |
| 6.4.1.    | Przenikanie przez beton promieniowania $\gamma$ i X . . . . .                                      | 362        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 6.4.2.    | Badanie gęstości metodą radiometryczną . . . . .  | 368        |
| 6.4.3.    | Określanie wilgotności metodą radiometryczną . . . . .  | 375        |
| 6.5.      | Określanie składu stwardniałego betonu . . . . .  | 376        |
| 6.5.1.    | Pobieranie próbek do badań . . . . .  | 377        |
| 6.5.2.    | Metoda szacunkowa . . . . .   | 379        |
| 6.5.3.    | Metody chemiczne . . . . .  | 386        |
| 6.5.4.    | Metoda granulometryczna . . . . .   | 394        |
| 6.5.5.    | Metody oparte na oznaczaniu gęstości betonu i jego składników .                                       | 394        |
| 6.5.6.    | Metody radiologiczne . . . . .  | 398        |
| 6.5.7.    | Metoda mikroskopowa . . . . .   | 399        |
| 6.5.8.    | Metody kompleksowe . . . . .  | 400        |
| 6.6.      | Przykłady badań . . . . .   | 402        |
|           | Przykład 1. Oznaczanie wilgotności betonu metodą suszarkowo-wagową .                                  | 402        |
|           | Przykład 2. Badania wilgotności keramzytobetonu metodą dielektryczną .                                | 403        |
|           | Przykład 3. Badania wilgotności elementów z betonu zwykłego metodą dielektryczną . . . . .            | 404        |
|           | Przykład 4. Określanie wilgotności ścian prefabrykowanych metodą dielektryczną . . . . .              | 404        |
|           | Przykład 5. Określanie wilgotności materiałów budowlanych metodą mikrofalową . . . . .                | 406        |
|           | Przykład 6. Badanie podciągania kapilarnego metodą mikrofalową . . . .                                | 408        |
|           | Przykład 7. Określanie wilgotności muru metodą mikrofalową . . . . .                                  | 409        |
|           | Przykład 8. Badania wilgotności betonu metodą radarową . . . . .                                      | 410        |
|           | Przykład 9. Badania gęstości objętościowej metodą rozproszonego promieniowania jonizującego . . . . . | 411        |
|           | Przykład 10. Określanie gęstości mieszanki betonowej metodą radiometryczną                            | 412        |
|           | Przykład 11. Badania wilgotności betonu lekkiego metodą radiometryczną                                | 414        |
|           | Przykład 12. Oznaczanie składu stwardniałego betonu metodą szacunkową                                 | 415        |
|           | Przykład 13. Określanie składu stwardniałego betonu zawierającego kruszywo z wapnia . . . . .         | 417        |
|           | Przykład 14. Badanie składu betonu metodą granulometryczną . . . . .                                  | 417        |
|           | Przykład 15. Oznaczanie składu stwardniałego betonu metodą mikroskopową                               | 419        |
|           | Literatura do rozdziału 6 . . . . .   | 421        |
| <b>7.</b> | <b>Lokalizacja wad w betonie . . . . .</b>  | <b>424</b> |
| 7.1.      | Badania wizualne . . . . .  | 424        |
| 7.1.1.    | Istotność wizualnej oceny konstrukcji . . . . .   | 424        |
| 7.1.2.    | Ogólne zalecenia dotyczące prowadzenia badań wizualnych . . . .                                       | 425        |
| 7.1.3.    | Aparatura wspomagająca wizualną ocenę konstrukcji . . . . .   | 429        |
| 7.2.      | Metoda ultradźwiękowa . . . . .   | 431        |
| 7.2.1.    | Propagacja fal sprężystych w betonie . . . . .  | 432        |
| 7.2.2.    | Sposoby określania nieciągłości struktury betonu metodą ultradźwiękową . . . . .                      | 438        |
| 7.2.3.    | Stosowany sprzęt . . . . .  | 442        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 7.3.      | Metoda młoteczkowa . . . . .  | 446        |
| 7.3.1.    | Podstawy teoretyczne metody młoteczkowej . . . . .  | 446        |
| 7.3.2.    | Stosowany sprzęt . . . . .  | 454        |
| 7.4.      | Metoda termograficzna . . . . .   | 457        |
| 7.4.1.    | Podstawy aktywnej termografii podczerwieni . . . . .  | 457        |
| 7.4.2.    | Termografia impulsowa . . . . .   | 463        |
| 7.4.3.    | Termografia modulacyjna . . . . .   | 466        |
| 7.4.4.    | Termografia impulsowo-fazowa . . . . .  | 468        |
| 7.4.5.    | Wibrotermografia . . . . .  | 470        |
| 7.4.6.    | Detektory podczerwieni . . . . .  | 472        |
| 7.5.      | Przykłady badań . . . . .   | 477        |
|           | Przykład 1. Badania elementów betonowych metodą ultradźwiękową . . . . .  | 477        |
|           | Przykład 2. Określanie przyczepności powłok polimerowych do podkładów metodą ultradźwiękową . . . . .           | 479        |
|           | Przykład 3. Badania metodą młoteczkową grubości kopuły żelbetowej przy dostępie jednostronnym . . . . .         | 483        |
|           | Przykład 4. Badania stanu ścian kanału żelbetowego metodą młoteczkową . . . . .                                 | 484        |
|           | Przykład 5. Wykrywanie nieciągłości betonu metodą młoteczkową . . . . .   | 487        |
|           | Przykład 6. Badanie modelowe stanu iniekcji kanałów kablowych metodą młoteczkową . . . . .                      | 489        |
|           | Przykład 7. Wykorzystanie metody młoteczkowej do wykrywania rozwarstwień między elementami betonowymi . . . . . | 491        |
|           | Przykład 8. Wykrywanie zarysowań metodą termografii podczerwieni . . . . .                                      | 492        |
|           | Przykład 9. Badania modelowe stanu iniekcji kanałów kablowych metodą termografii podczerwieni . . . . .         | 493        |
|           | Przykład 10. Wykrywanie nieciągłości struktury betonu metodą termografii impulsowo-fazowej . . . . .            | 496        |
|           | Literatura do rozdziału 7 . . . . .   | 498        |
| <b>8.</b> | <b>Lokalizacja zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych . . . . .</b>  | <b>501</b> |
| 8.1.      | Metoda elektromagnetyczna . . . . .   | 501        |
| 8.1.1.    | Podstawy metody elektromagnetycznej . . . . .   | 503        |
| 8.1.2.    | Kalibracja urządzeń i metodyka pomiaru . . . . .  | 511        |
| 8.1.3.    | Dokładność metody i interpretacja wyników . . . . .   | 514        |
| 8.1.4.    | Stosowany sprzęt . . . . .  | 519        |
| 8.1.5.    | Przykłady badań . . . . .   | 543        |
| 8.2.      | Metoda radarowa . . . . .   | 551        |
| 8.2.1.    | Podstawy metody radarowej . . . . .   | 552        |
| 8.2.2.    | Metodyka pomiaru . . . . .  | 561        |
| 8.2.3.    | Dokładność metody i interpretacja wyników . . . . .   | 563        |
| 8.2.4.    | Stosowany sprzęt . . . . .  | 565        |
| 8.3.      | Metoda radiologiczna . . . . .  | 573        |
| 8.3.1.    | Podstawy metody radiograficznej . . . . .   | 574        |
| 8.3.2.    | Metodyka pomiaru . . . . .  | 585        |
| 8.3.3.    | Stosowany sprzęt . . . . .  | 593        |

|   |            |
|---|------------|
| 8.4. Metoda ultradźwiękowa . . . . .  | 596        |
| 8.4.1. Podstawy metody . . . . .  | 596        |
| 8.4.2. Metodyka pomiaru i stosowany sprzęt . . . . .  | 601        |
| 8.5. Urządzenia hybrydowe . . . . .   | 601        |
| Literatura do rozdziału 8 . . . . .   | 602        |
| <b>9. Określenie wytrzymałości stali zbrojeniowej . . . . .</b>                                       | <b>608</b> |
| 9.1. Badanie stali w odkrywkach . . . . .   | 608        |
| 9.1.1. Wykonywanie odkrywek zbrojenia . . . . .   | 608        |
| 9.1.2. Określanie gatunku stali na podstawie uźebrowania prętów . . . . .                             | 609        |
| 9.1.3. Określanie producenta stali na podstawie uźebrowania zbrojenia . . . . .                       | 635        |
| 9.2. Pobieranie próbek i badania wytrzymałościowe . . . . .   | 637        |
| 9.2.1. Miejsca i sposób pobierania próbek . . . . .   | 637        |
| 9.2.2. Badania cech mechanicznych . . . . .   | 638        |
| 9.2.3. Badania chemiczne . . . . .  | 653        |
| 9.3. Przykłady badań . . . . .  | 654        |
| Przykład 1. Określenie gatunku stali na podstawie uźebrowania i daty<br>wzniesienia obiektu . . . . . | 654        |
| Przykład 2. Próba rozciągania prętów pobranych z konstrukcji . . . . .                                | 655        |
| Literatura do rozdziału 9 . . . . .   | 657        |